ABC DOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ENERGIA

Mário Ferreira Alves (malves@dee.isep.ipp.pt)

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Fevereiro de 1999

Prefácio

Estes apontamentos visam fornecer alguns conceitos de base na área dos Sistemas Eléctricos de Energia. Focam-se aspectos importantes da cadeia da energia eléctrica: produção, transporte, distribuição e utilização. Aborda-se sucintamente a aparelhagem de corte e protecção de pessoas e equipamentos e fazendo também uma referência à segurança de pessoas, descrevendo algumas medidas práticas para esse efeito.

Índice

1. CADEIA DA ENERGIA ELÉCTRICA

A energia eléctrica (EE) aparece espontaneamente em alguns fenómenos da natureza (relâmpagos, electricidade estática, etc.). No entanto, para a podermos utilizar convenientemente necessitamos que esta esteja disponível de uma forma estável e previsível. Para atingir este objectivo, o ser humano teve de inventar procedimentos de **produzir** EE, sem depender de fenómenos naturais esporádicos. Como na natureza *nada se perde, nada se cria, tudo se transforma*, a produção (ou geração) de EE consiste em transformar outras formas de energia em energia eléctrica, nomeadamente:

- Hídrica
- Térmica
- Eólica
- Solar
- Química
- Marémotriz

sendo, em grande parte, transformadas primeiramente em energia mecânica e só depois em EE.

A produção de EE, tal como outro grande processo industrial, faz-se normalmente longe das zonas urbanas, ou seja, longe dos consumidores de EE, quer por restrições urbanísticas e ecológicas, quer por causa da localização dos próprios recursos (rios, mar, sol, carvão, etc.). É portanto necessário **transportar** a EE do ponto onde é produzida, para outros pontos mais próximos do consumidor.

Depois de se dispor da EE em determinados pontos estratégicos (centros de consumo), é necessário **distribuir** essa energia aos consumidores, de uma forma que eles a possam **utilizar** de uma forma fiável e segura.

É comum chamar a todo este processo a cadeia da EE, podendo representar-se da seguinte forma:
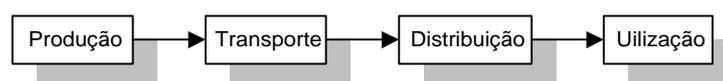
Figura 1: A Cadeia da Energia Eléctrica

Abordam-se a seguir, em termos muito sucintos, a Produção, Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica.

1.1. Produção

A produção industrial de EE é conseguida a partir de outras formas de energia, em Centrais Eléctricas. Existem diversos meios de produção de EE que correspondem ao aproveitamento de diferentes formas de energia disponíveis, os quais dão lugar a diferentes tipos de centrais. Entre estas, referem-se a seguir os conceitos básicos das Centrais Eólicas, Hidroeléctricas e Termoeléctricas.

Qualquer uma destas centrais "produz" EE a partir do movimento de rotação de um alternador (gerador de tensão alternada sinusoidal), que transforma este movimento em EE.

As Centrais Eólicas utilizam a energia do vento para movimentar as pás de vários moinhos de vento, que por sua vez estão ligados a alternadores:

Figura 2: Moinhos de vento de uma Central Eólica

As Centrais Hidroeléctricas (CHE) realizam o aproveitamento da energia potencial (e cinética) da águas dos rios. O movimento descendente de água provoca o movimento de uma turbina que, associada a um alternador, permite a geração EE.

Nas Centrais Termoeléctricas (CTE) o aquecimento de água a partir de

- Carvão
- Fuel
- Gás
- Materiais radioactivos

provoca o aparecimento de vapor de água. A deslocação deste vapor provoca o movimento de uma turbina que, associada a um alternador, permite a geração EE. Este processo pode verificar-se graficamente na *Figura 3* ([3]).
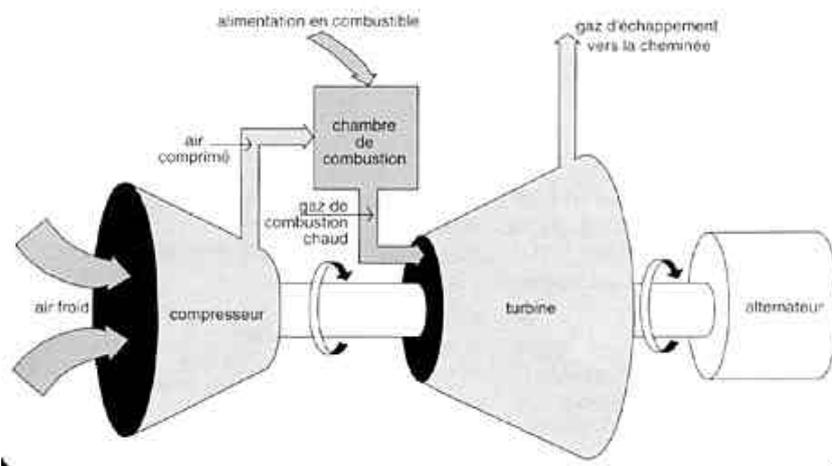
Figura 3: Central Termoeléctrica (esquema simplificado)

A central nuclear pode considerar-se um caso particular das centrais termoeléctricas, realizando o aproveitamento da energia contida em certos materiais radioactivos (normalmente urânio).

Tradicionalmente, em Portugal, as grandes quantidades de EE que são necessárias para satisfazer os consumos têm sido obtidas a partir de CHE e CTE. O mesmo já não acontece em outros países que utilizam energia nuclear. No caso da França, 76% da EE é de origem nuclear. Em 1995 a EE nuclear representava 81% da produção total da EDF, a termoeléctrica "convencional" 4% e a hidroeléctrica 15%.

O aproveitamento da energia hidráulica tem particular interesse por um conjunto de razões ([1]):

- O suprimento de energia (rios) é gratuito, ao contrário das CTE.
- Menor desgaste de exploração que as CTE, pois o equipamento não está sujeito a temperaturas elevadas.
- Não dependem de um combustível extraído do solo (e portanto, esgotável).
- Não criam problemas de poluição (um problema sério e ainda não resolvido, nas CTE).

No entanto, as CTE permitem fornecer permanentemente a mesma EE, desde que não falte o combustível. O mesmo já não acontece com as CHE, pois as disponibilidades de água são variáveis, uma vez que dependem da pluviosidade havida na bacia hidrográfica que as alimenta e dos gastos já efectuados, no caso de existir um reservatório (albufeira).

Interligação de Centrais Produtoras de Energia Eléctrica

É de referir que as centrais produtoras de EE podem estar interligadas, numa tentativa de minimizar o problema do consumo variável de EE (um grave problema para os produtores de EE). Este processo de interligação consiste em fazer trabalhar os respectivos geradores em paralelo e, por intermédio dos respectivos sistemas de comando, distribuir a carga (consumo) por elas nas proporções mais convenientes.

A interligação é feita de um modo hierárquico, isto é, interligam-se centrais isoladas para formar sistemas regionais, depois interligam-se os sistemas regionais para formar os sistemas nacionais, etc.

Podem enunciar-se as vantagens da produção cooperativa de energia ([2]):

- Menor potência instalada (menor "dimensão" de cada central isolada) $\Rightarrow$ diminuição do custo da EE produzida, por menor imobilização de capital.
- Menor encargo com sistemas de reserva (devido à gestão colectiva dos sistemas de reserva).
- Melhoria da qualidade do serviço de fornecimento de EE, uma vez que os efeitos de uma avaria numa central poderão ser minimizados através do abastecimento feito pelas restantes centrais da mesma rede.

No entanto, aparecem também alguns inconvenientes inerentes:

- Maiores encargos com linhas e equipamento associado.
- Maiores despesas de coordenação, a gestão de um sistema grande é mais complexa do que a gestão de um sistema de reduzida dimensão.

Em conclusão, a análise dos prós e dos contras indica **vantagem** para a interligação de sistemas.

1.2. Transporte

Considerações Energéticas

Quanto maior for a intensidade da corrente eléctrica (I), maior o efeito de aquecimento dos condutores. A queda de tensão (U) ao longo do transporte de EE também é tanto maior quanto maior a intensidade da corrente eléctrica. Estes fenómenos traduzem-se numa perda

energética, obviamente indesejável. Para reduzir estes efeito, devem utilizar-se condutores de maior secção (mais espessos), mais dispendiosos.

Há então que reduzir a intensidade da corrente eléctrica. Mas como o fazer mantendo a mesma EE transportada?

Sabendo que a EE é directamente proporcional à tensão (U) e à corrente (I) na linha, podemos reduzir I, mantendo a EE, se aumentarmos proporcionalmente U.

Conclui-se então que **elevando a tensão** (U) , consegue transmitir-se a **mesma energia** com **menos perdas!**

Aparece, no entanto, um problema associado à elevação do valor da tensão - o equipamento necessário para o transporte em segurança (isolamento eléctrico) tem de ser substancialmente melhorado, implicando um aumento do seu preço.

Ao dimensionar a tensão do sistema de transporte há portanto que equacionar o compromisso:
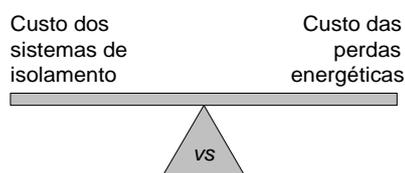
Figura 4: Custo dos sistemas de isolamento vs. *Custo das perdas energéticas*

Verifica-se ([1]) que se a distância a transportar a EE exceder alguns quilómetros, a tensão mais económica passa a colocar-se na zona das chamadas altas tensões, isto é, acima de 1 KV (1.5 KV em corrente contínua). Em Portugal, as tensões de transporte utilizadas são as seguintes: 60, 150, 220 e 400 KV. Não se prevê a introdução de tensões superiores, devido a, no nosso país, as distâncias a percorrer serem relativamente curtas. No entanto, em países como os EUA utilizam-se tensões de 750 KV.

Transformadores de tensão

Sempre que se pretende elevar (subestações elevadoras), ou baixar (subestações abaixadoras, postos de transformação) o valor da tensão eléctrica, recorre-se ao uso de **transformadores**. Estes, conservando a energia da entrada para a saída (a menos das perdas), reduzem ou aumentam o valor da tensão.

Pode visualizar-se na *Figura 5* o esquema simplificado de um transformador.
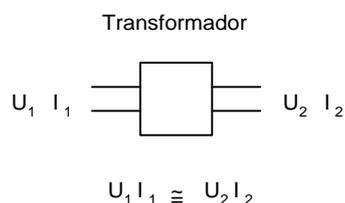
Figura 5: Transformador

O valor da intensidade da corrente, como já foi referido, varia de uma forma inversamente proporcional à tensão. Por exemplo, um transformador elevador de tensão, com uma razão de transformação de 1000, que tenha aplicados à sua entrada uma tensão de 100 V e uma corrente de 10 A, tem, na sua saída, 100 KV e 10 mA.

Componentes de uma linha eléctrica

As partes que constituem uma linha de transporte de EE são essencialmente:

- Condutores
- Isoladores
- Suportes

A EE pode ser transportada (e distribuída) por:

- Linhas aéreas
- Cabos subterrâneos

A rede de transporte é formada por linhas aéreas constituídas por condutores nus, isto é, sem isolamento eléctrico ao longo do seu comprimento e que se apoiam ou se suspendem em postes com a interposição de isoladores. Os condutores nus utilizados podem ser de diversos materiais (cobre, alumínio, ligas de alumínio ou cabos mistos de alumínio/aço) suspensos em postes (em madeira, betão ou metal).

Os cabos subterrâneos são usados quando a utilização das linhas aéreas se torna impraticável. Isto acontece nas áreas urbanas, quer pela despesa da implantação dos postes, quer pelas disposições de segurança necessárias.

1.3. Distribuição

Depois de feito o transporte da EE em alta tensão (AT), até às subestações existentes nos centros de consumo, destas é feita distribuição, em várias linhas, cada uma delas destinada a alimentar a sua zona.

Das linhas de distribuição de AT são tiradas derivações para postos de transformação (PT) que transformam a EE para baixa tensão (BT), de forma a ser entregue ao utilizador. A tensão de distribuição, a montante do PT situa-se na gama de 15 a 60 KV. Em Portugal, a tensão de utilização (a jusante dos PT) mais comum é de 400/230 V. Instalações de uma certa importância como fábricas, hospitais e outros grandes edifícios têm geralmente PT próprios e, por vezes, mais do que um.

Para o serviço de tracção eléctrica urbana (carros eléctricos, *trolley* carros) utiliza-se muito a tensão contínua de 550 V, que é obtida a partir de subestações que dispõem de um sistema de rectificação da corrente alternada.

Apresenta-se na *Figura 6* o esquema tipo de um sistema de fornecimento de energia.
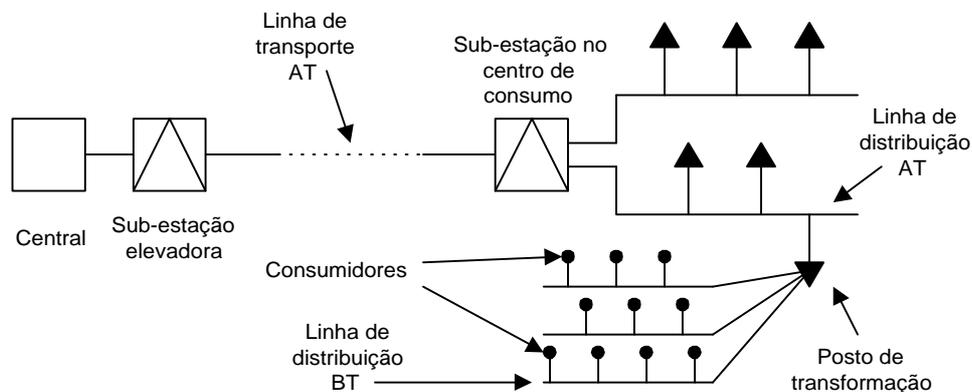
Figura 6: Sistema de fornecimento de energia

1.4. Utilização

Levada a EE até às instalações do consumidor (utilizador), este recebe-a num quadro onde deverá existir a aparelhagem destinada a contá-la, os dispositivos de protecção geral da sua instalação e um interruptor geral.

No mesmo quadro, são separados os diferentes circuitos que vão alimentar as diferentes secções da instalação. Do quadro partem, por conseguinte, condutores que se dirigem para os diferentes receptores a alimentar.

São a seguir enunciados alguns dos tipos mais comuns de utilização de EE ([1]):

- Força Motriz: a força motriz obtém-se a partir da EE sob forma de um movimento de rotação de máquinas designadas por motores eléctricos.
- Tracção Eléctrica: força motriz aplicada à movimentação de veículos.
- Iluminação Eléctrica: utilização de energia eléctrica para produzir luz.
- Electrotermia: aquecimento em edifícios, aquecimento de água, fornos eléctricos industriais, soldadura eléctrica.

2. APARELHAGEM DE CORTE E PROTECÇÃO

Uma cadeia de EE, para um bom funcionamento, necessita de um maior ou menor conjunto de operações, nomeadamente ([1]):

- Medição
  A realização de medições permite o conhecimento do valor de grandezas eléctricas, permitindo detectar situações de anomalia.
- Protecção
  Se por qualquer motivo fortuito ou acidental, as grandezas eléctricas ultrapassarem os valores suportados pelos sistemas eléctricos, há necessidade do emprego de dispositivos de protecção, de forma a evitar que estes sistemas sofram prejuízos.
- Regulação
  Algumas grandezas podem assumir valores considerados óptimos, sendo conveniente introduzir as correcções necessárias (regulação) sempre que haja desvios desse óptimo. A regulação pode ser manual ou automática.
- Comando
  Se o valor óptimo da grandeza considerada, em vez de ser constante, for variável, deixamos de ter uma regulação para passarmos a ter um comando, que pode igualmente ser manual ou automático.
- Interrupção
  Um sistema nem sempre necessitará de estar em funcionamento, pelo que os circuitos eléctricos terão de ser interrompidos com maior ou menor frequência e restabelecidos sempre que necessário.
- Seccionamento
  Na cadeia de energia, poderá interessar que alguns elementos ou partes do sistema sejam postos fora de serviço sem, contudo, isso afectar o funcionamento do resto do sistema. O seccionamento garante a independência de partes do sistema, permitindo o funcionamento de umas partes enquanto outras se encontram inactivas (avariadas, em reparação, em conservação, em substituição).

2.1. Aparelhagem de Corte (Interrupção e Seccionamento)

A abertura (corte) de um circuito eléctrico pode efectuar-se em duas circunstâncias distintas:

- Interrompendo a passagem de uma corrente eléctrica.
- Não interrompendo essa passagem.

A primeira operação tem o nome de **interrupção** e a segunda tem o nome de seccionamento. Os aparelhos que permitem realizar estas operações - **interruptores** e seccionadores, apresentam características construtivas diferentes, atendendo a que os interruptores, fazem a abertura num circuito em que circula uma corrente eléctrica não desprezável. Pode então formar-se um **arco eléctrico**!

O arco eléctrico é um fenómeno luminoso que corresponde à persistência da passagem da corrente através dos contactos que se separam, quando se interrompe um circuito eléctrico. Se está em jogo uma pequena potência eléctrica (BT) teremos apenas uma faísca, de cor azulada e de curta duração. Se se tratar de uma potência mais elevada (AT), produz-se um arco eléctrico mais persistente e de cor mais clara, que pode deteriorar gravemente os contactos do interruptor. O arco é formado por uma descarga eléctrica que se verifica entre eléctrodos

colocados num meio isolante, sendo constituído por electrões e gás ionizado a muito alta temperatura.

Devem referir-se as grandezas que caracterizam o arco eléctrico:

- *Tensão de acendimento ou de escorvamento* é a tensão necessária para se estabelecer o arco.
- *Tensão de arco ou queda de tensão no arco* é a tensão necessária para manter o arco (inferior à tensão de acendimento).
- *Tensão de extinção* é a tensão para a qual se verifica a extinção ou apagamento do arco.
- *Tensão de reacendimento* é a tensão que provoca o reacendimento do arco, depois de este se ter extinto.

O aparecimento do arco eléctrico quando da abertura dos contactos de um aparelho tem inconvenientes, nomeadamente:

- A interrupção do circuito não se concretiza efectivamente enquanto subsistir o arco eléctrico.
- Há um desgaste prematuro dos contactos devido ao aparecimento do arco eléctrico, que implica o estabelecimento de temperaturas muito elevadas.
- A presença do arco eléctrico representa um risco grave de incêndio ou explosão nos equipamentos que possuam isolantes inflamáveis como óleo, dadas as temperaturas elevadas que se verificam.
- O aparecimento de ruídos electromagnéticos parasitas.

Dados os inconvenientes que representa o arco eléctrico para os aparelhos de corte, a sua concepção e construção tentam prevenir a ocorrência deste fenómeno. Para dificultar a formação do arco, utilizam-se contactos de cobre, latão, bronze, etc. Para evitar as acções do arco eléctrico, é frequente utilizar na aparelhagem dois tipos de contactos:

- *Contactos principais*, que se destinam a dar passagem à corrente após o fecho definitivo do circuito.
- *Contactos auxiliares ou de corte*, que consistem num par de contactos de menor dimensão, ligado em paralelo com o circuito dos contactos principais e que se fecham antes e abrem depois destes.

O arco eléctrico forma-se assim entre os contactos auxiliares, que sofrerão assim o desgaste mais importante, mas que poderão ser substituídos com menores encargos, dada a menor secção e a sua construção menos cuidada em relação aos contactos principais, sendo de custo muito inferior. Impede-se assim que os danos incidam nos contactos principais.

Observe-se ainda que quanto mais comprido for o arco eléctrico, mais curta é a sua duração (o que é bom, claro). Também, para aumentar a vida dos contactos dos aparelhos de corte, procura-se que a extinção do arco seja tão rápida quanto possível. Com este objectivo, aparecem usualmente dispositivos de mola, com o intuito de tornar mais rápida a interrupção. Mesmo nos aparelhos destinados a interromper correntes relativamente baixas (6 a 10 A), caso dos pequenos interruptores domésticos, há normalmente um dispositivo de mola para assegurar a interrupção brusca.

É de salientar que, em certos casos, o fenómeno do arco eléctrico é aproveitado positivamente. Basta pensar nos veículos com motores de combustão, em que o arco eléctrico

que se cria entre os dois terminais das velas permite incendiar o combustível, ou no caso da soldadura por arco eléctrico.

A aparelhagem de corte (em BT) é geralmente caracterizada, do ponto vista eléctrico, pelas seguintes grandezas:

- *Tensão nominal*, que é a tensão para que foi projectada e ensaiada e que será a tensão normal de utilização.
- *Corrente nominal*, que é a intensidade de corrente para que foi concebida e para a qual as condições de aquecimento foram determinadas.
- *Poder de corte*, que indica a aptidão de utilização do aparelho para o corte dos circuitos em carga, o qual pode ser expresso em *Ampère* ou *Voltampère* (potência aparente).

Devem também ser consideradas outras características dos aparelhos, de modo a proceder à sua selecção, nomeadamente as características do local de instalação e o número de manobras por hora a que o aparelho vai estar sujeito.

2.2. Aparelhagem de Protecção

A evolução do consumo e do número de utilizadores de EE exige que sejam tomadas precauções especiais, por todos os intervenientes nas fases de produção, transporte, distribuição e utilização, de modo a diminuir os riscos que uma incorrecta utilização apresenta.

As instalações eléctricas devem ser concebidas, executadas e mantidas de forma a minimizar os riscos a que pessoas e bens estão sujeitos, quer em funcionamento normal, quer quando nelas ocorram situações de defeito ou avaria.

Os sistemas eléctricos são projectados e construídos para funcionarem com uma determinada tensão e uma dada corrente nominais. No entanto, podem ocorrer situações de avaria em que surjam valores de tensão e/ou corrente bastante inferiores ou superiores aos respectivos valores nominais.

O objectivo da aparelhagem de protecção mais frequentemente empregue é detectar quando é que os valores da corrente e da tensão saem fora da zona permitida, desligando a parte afectada do circuito, evitando mais prejuízos para o sistema eléctrico.

Podem referir-se como exemplos de sistemas eléctricos: motores, computadores, transformadores, placas de circuito impresso, fontes de alimentação, sistemas de comunicação e electrodomésticos.

As situações de avaria mais frequentes são:

- Corrente superior à nominal (**sobrecarga**).
- Corrente muito superior à nominal (sobreintensidade de **curto-circuito**).
- Tensão muito superior à tensão nominal (**sobretensão**).
- Falta ou abaixamento exagerado da tensão.

A escolha da aparelhagem de protecção deverá depender, obviamente, do tipo de anomalia de que deverá proteger um dado sistema. Por exemplo, a actuação no caso de um curto-circuito deverá ser muito mais rápida do que a actuação no caso de uma sobrecarga, onde poderá ser permitido que a avaria se mantenha durante mais tempo (dependendo das características do circuito e da relação entre as correntes de sobrecarga e nominal).

Um sistema de protecção deverá apresentar as seguintes características:

- Fiabilidade
  O sistema de protecção deve entrar efectivamente em funcionamento quando se verifiquem as condições previstas para a sua actuação. Embora a aparelhagem de protecção passe a maior parte do tempo sem actuar, mantendo-se apenas numa função de vigilância do circuito, é necessário que actue convenientemente assim que necessário.

- Selectividade
  A aparelhagem de protecção deve ter características de actuação tais que, em caso de anomalia, apenas seja desligada a parte estritamente necessária da instalação, para o isolamento do defeito. No caso de não actuação de um aparelho de protecção, por defeito ou má calibração, deverá actuar o aparelho que se encontre imediatamente a montante (para "cima", na instalação), de modo a que a zona desactivada seja o menor possível.

- Rapidez (de actuação)
  As consequências de uma avaria são, normalmente, tanto mais graves quanto mais tempo estiver a ser fornecida energia eléctrica ao circuito defeituoso (principalmente no caso de um curto-circuito). Portanto, a fim de se reduzirem ao mínimo os efeitos da avaria, os aparelhos de protecção devem ter uma actuação o mais rápida possível.

- Insensibilidade (a perturbações de curta duração)
  Há determinadas perturbações de curta duração que não são prejudiciais e decorrem de situações normais de exploração (caso de regimes transitórios em que há elevação temporária da corrente). Deverão portanto evitar-se interrupções de serviço desnecessárias e inconvenientes, projectando os aparelhos de protecção de modo a não actuarem nestas circunstâncias.

- Consumo reduzido
  A aparelhagem de protecção deve ter um consumo próprio tão reduzido quanto possível, por motivos óbvios de natureza económica.

As **sobretensões** aparecem, na maior parte dos casos, nas redes de distribuição aéreas e têm normalmente como origem descargas atmosféricas (trovoadas), contactos acidentais entre instalações de AT e BT ou a perfuração de um isolante num transformador. Para proteger os circuitos destes fenómenos, pode ligar-se o condutor neutro à terra e montar pára-raios entre os condutores de fase e de neutro ([4]).

Outra medida de protecção contra sobretensões é a utilização das chamadas "linhas de guarda", no transporte de energia eléctrica. Estas linhas encontram-se acima das linhas das três fases, com ligação eléctrica à terra nos postes, de modo a que se ocorrer uma descarga eléctrica atmosférica ("raio"), ela é conduzida para a terra, protegendo toda a instalação de uma sobretensão. É de notar que nos circuitos electrónicos (não de energia), a protecção contra sobretensões pode ser feita de outras maneiras, nomeadamente pela utilização de díodos *Zener*.

A protecção contra a **falta ou grande abaixamento da tensão** de serviço é obtida a partir das chamadas bobinas de tensão nula ([1]).

A protecção das instalações eléctricas contra **sobreintensidades** (**sobrecargas** e **curtos-circuitos**) pode ser realizada por:

- Fusíveis

- Relês de protecção (associados a disjuntores)

O **fusível** é essencialmente constituído por um fio condutor homogéneo e calibrado que é percorrido pela corrente do circuito que pretende proteger.

Quando a corrente que o atravessa ultrapassa a corrente nominal do fusível, este sofre um aquecimento anormal e, por efeito da sua fusão (*fuse*, em Inglês, significa fundir) ou volatilização, interrompe o circuito onde está inserido. O fusível interrompe o circuito tanto mais depressa quanto maior for o valor da corrente.

O elemento fusível pode ser constituído por um fio ou uma lâmina de metal ou de liga metálica, com uma secção tal que, por efeito de *Joule*, funda logo que a intensidade da corrente atinja um determinado valor.

Alguns dos fusíveis mais utilizados para BT são:

- Fusível de Rolo (ou rolha)
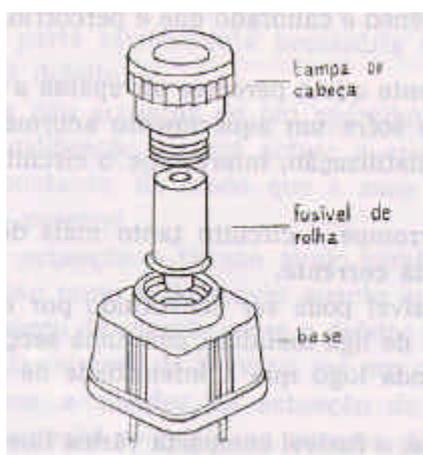
Figura 7: Fusível de Rolo (ou rolha)

- Fusível *Gardy*
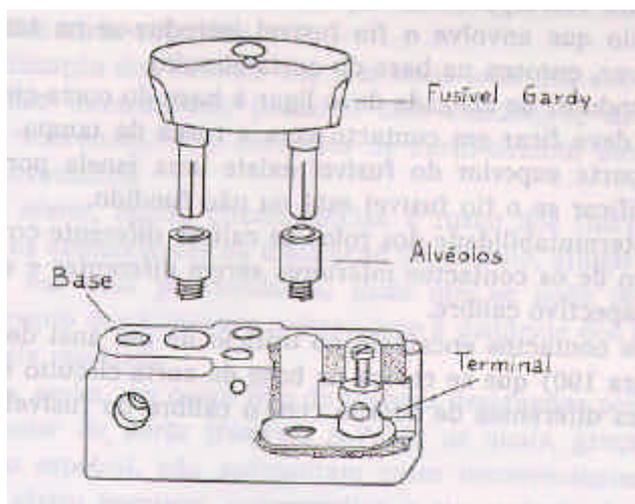
Figura 8: Fusível Gardy

- Fusível de Punho
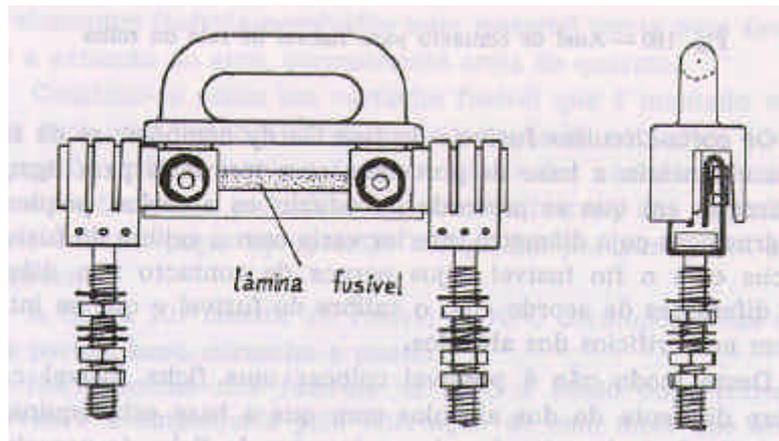
Figura 9: Fusível de Punho

Existindo ainda, para interromper correntes muito elevadas (evitando os problemas do estilhaçamento do fusível e do arco eléctrico), os chamados fusíveis de alto poder de corte (fusíveis APC).

Para utilização em aparelhagem eléctrica (multímetros, por exemplo) e outros sistemas envolvendo pequenas correntes, utilizam-se fusíveis com um formato cilíndrico.

Apresentam-se na *Figura 10* alguns tipos de fusíveis.

Figura 10: Alguns tipos de fusíveis

É de notar que, devido a que a intensidade de fusão de um fusível ser muito mais elevada que a sua corrente nominal, estes não são adequados à protecção contra sobrecargas, pois estas não podem ser consentidas indefinidamente. Já na protecção contra curto-circuitos, como as correntes são muito superiores às nominais, este dispositivo torna-se eficiente.

Por exemplo, em circuitos de iluminação e de aquecimento, a protecção por fusíveis é eficiente dado que a existência de sobrecargas não é um problema de maior. Por outro lado, em circuitos de força motriz, além dos curto-circuitos, há que considerar também as sobrecargas.

Existe assim a necessidade de protecção eficiente contra sobrecargas, o que é feito utilizando **relês de protecção associados a disjuntores.**

Os relês de protecção são aparelhos sensíveis a diferentes situações de avaria e que, em presença dessas situações, transmitem ordens de disparo aos aparelhos de corte (disjuntores - aparelhos de corte accionados automaticamente) que devem isolar a parte do circuito avariada.

A *Figura 11* apresenta o aspecto real de alguns aparelhos deste tipo ([5]).
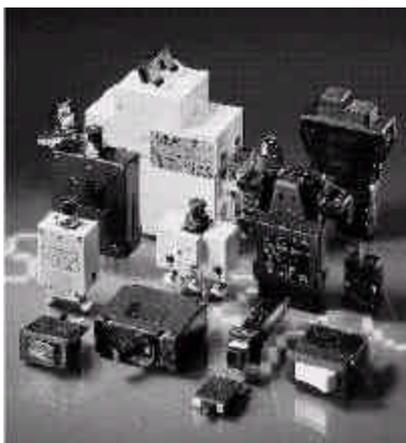
Figura 11: Relês de protecção

Quanto ao seu princípio de funcionamento, os relês de protecção podem classificar-se em:

- Relês Térmicos

  A sua construção é muito simples, baseando-se no aquecimento (*Efeito de Joule*) produzido pela passagem da corrente no sistema eléctrico a proteger. Uma lâmina constituída por dois metais (bimetálica) com coeficientes de dilatação diferentes, encurva-se tanto mais quanto maior for a corrente que a percorre (pois um dos metais dilata-se mais do que o outro).
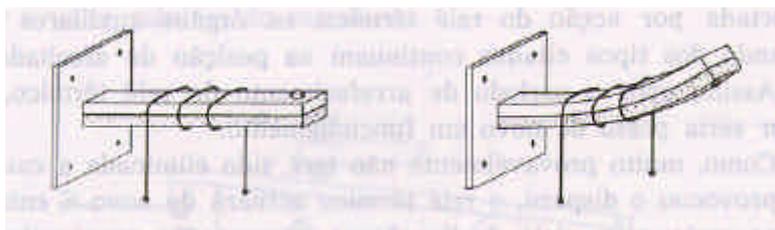
Figura 12: Princípio de funcionamento de um relê térmico

Estes adequam-se principalmente à protecção de sobrecargas em motores, transformadores e ligações de baixa tensão. A sua representação esquemática é apresentada na *Figura 13*.
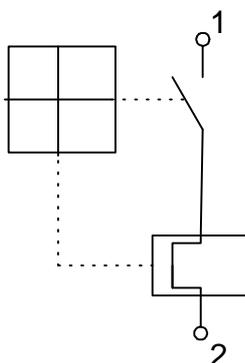
Figura 13: Esquema eléctrico de um relê térmico

- Relês Magnéticos

  Baseiam-se no princípio da atracção magnética, utilizando um electroíman que actua sobre uma armadura móvel.
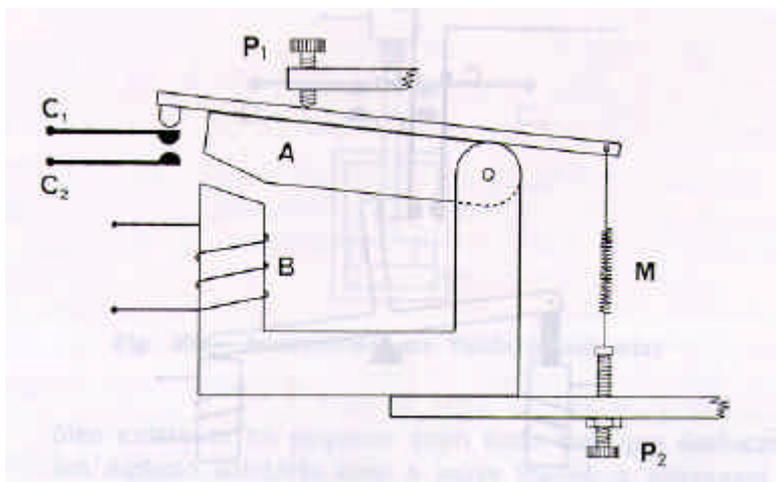
Figura 14: Princípio de funcionamento de um relê magnético

Aplicações típicas incluem protecção de curto-circuitos em placas de circuito impresso e em dispositivos semicondutores de potência. A sua representação esquemática é apresentada na *Figura 15*.
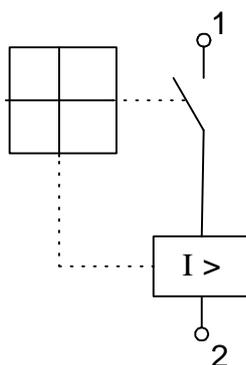
Figura 15: Esquema eléctrico de um relê magnético

- Relês Termomagnéticos

  Estes fundamentam o seu princípio de funcionamento nos dois anteriores, aproveitando as características de ambos. São portanto indicados tanto para a protecção de sobrecargas como de curto-circuitos em sistemas de telecomunicações, controlo de processos e em todas as aplicações mais exigentes em termos de performance. A sua representação esquemática é feita na *Figura 16*.
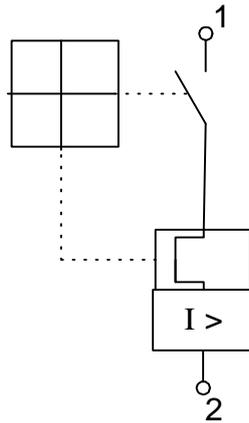
Figura 16: Esquema eléctrico de um relê termomagnético

Refira-se ainda que os conhecidos interruptores (relês, mais correctamente) diferenciais, mais não fazem do que detectar diferenças de correntes entre condutores de “entrada” e de “saída”. Um funcionamento normal de um dado sistema eléctrico implica que a corrente (energia) de entrada seja de igual valor à corrente (energia) de saída. No caso de aparecer uma diferença de valor entre as duas (ou mais) correntes, quer dizer que a corrente (energia) está a fluir para fora do circuito eléctrico, possivelmente através de um ser humano que esteja a fazer ligação à terra. Este tipo de dispositivo detecta estas anomalias e actua devidamente, interrompendo o circuito eléctrico.

3. SEGURANÇA DE PESSOAS

A electricidade não é perigosa se utilizada correctamente e se o equipamento utilizado nos sistemas eléctricos for projectado, executado, operado e mantido adequadamente ([6]). No entanto, existem situações em que podem ocorrer acidentes devido a diversas causas (estudo feito no Reino Unido, durante um ano):

Causa do Acidente	Fatal	Total
Defeito da instalação	5	91
Ensaios de equipamentos ou instalações	5	87
Ignorância, negligência, imprudência	24	354
Acidentes provocados por outros que não o acidentado	18	160
Trabalho deliberado em tensão	3	108
Desconhecimento ou má interpretação de instruções ou procedimentos de segurança	1	16
Total	56	816

Os acidentes eléctricos podem dividir-se, quanto à sua gravidade, em ([7]):

- Electrocussão: acidente eléctrico mortal
- Electrização: acidente eléctrico não mortal

O efeito da corrente eléctrica no corpo humano depende essencialmente dos seguintes parâmetros:

- Frequência ou variação da corrente
- Intensidade da corrente
- Tempo durante o qual a corrente atravessa o corpo
- Percurso da corrente através do corpo

São os seguintes os efeitos que podem aparecer:

- Formigueiro
- Contracções musculares
- Queimaduras externas e/ou internas
- Fibrilação ventricular (contracção não síncrona das fibras que constituem os ventrículos cardíacos)

3.1. Influência da Corrente Eléctrica

As frequências mais perigosas são as frequências entre 10 e 500 Hz, enquanto que as altas frequências (10000 Hz ou superiores) não têm praticamente perigo (salvo o caso de queimaduras provocadas por correntes muito intensas).

As consequências dos acidentes eléctricos dependem fundamentalmente da relação tempo/corrente, isto é, do valor de corrente eléctrica que atravessa o corpo humano e do tempo que dura esse fenómeno.

Deve salientar-se o caso da frequência mais utilizada - 50 Hz - onde se podem estabelecer zonas tempo/corrente correspondentes a comportamentos característicos do organismo (Figura 17).
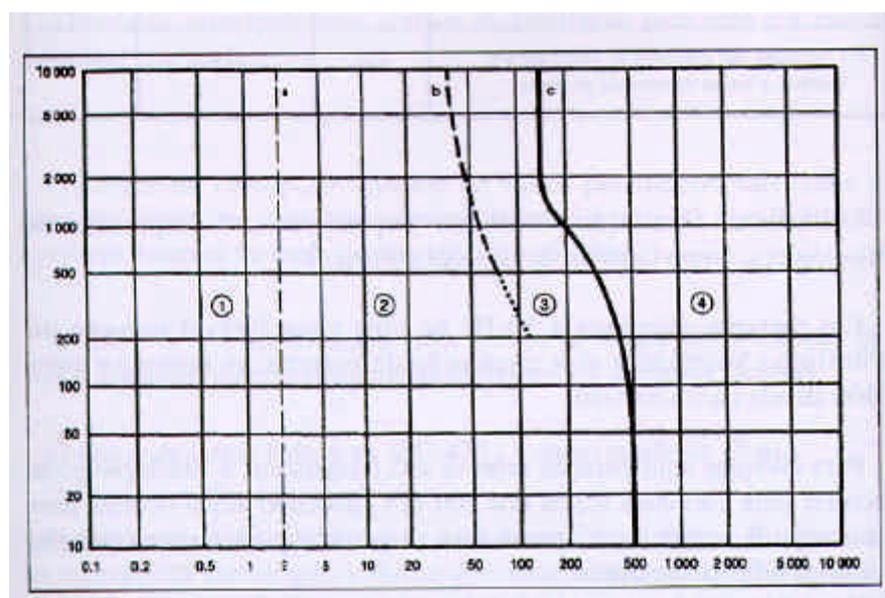
Figura 17: Zonas de perigo tempo/corrente para CA 15-100 Hz

Zona 1 - Usualmente nenhuma reacção

Zona 2 - Usualmente nenhum efeito fisiológico perigoso

Zona 3 - Usualmente não é esperada nenhuma danificação orgânica. É de esperar contracções musculares e dificuldade de respirar. Não é de esperar fibrilação ventricular.

Zona 4 - Para além dos efeitos da zona 3, probabilidade de fibrilação cada vez maior, com possibilidade de paragem cardíaca, paragem respiratória e queimaduras graves

Uma intensidade de 10 mA (50 Hz) não é sentida e intensidades de 20 a 30 mA podem ser consideradas não perigosas, qualquer que seja o tempo de aplicação. Isto verifica-se na quase totalidade dos casos, pois a contracção dos músculos não é suficientemente forte para impedir o indivíduo de se soltar sozinho, salvo casos de pessoas muito sensíveis.

No caso da **corrente contínua**, a situação é diferente do caso da corrente alternada. Os acidentes são muito menos frequentes e acidentes fatais são raros e só em situações muito desfavoráveis podem acontecer. Consideram-se situações perigosas apenas a partir de 50 ou 100 mA.

Podem também definir-se zonas de efeitos fisiológicos para a corrente contínua (Figura 18).
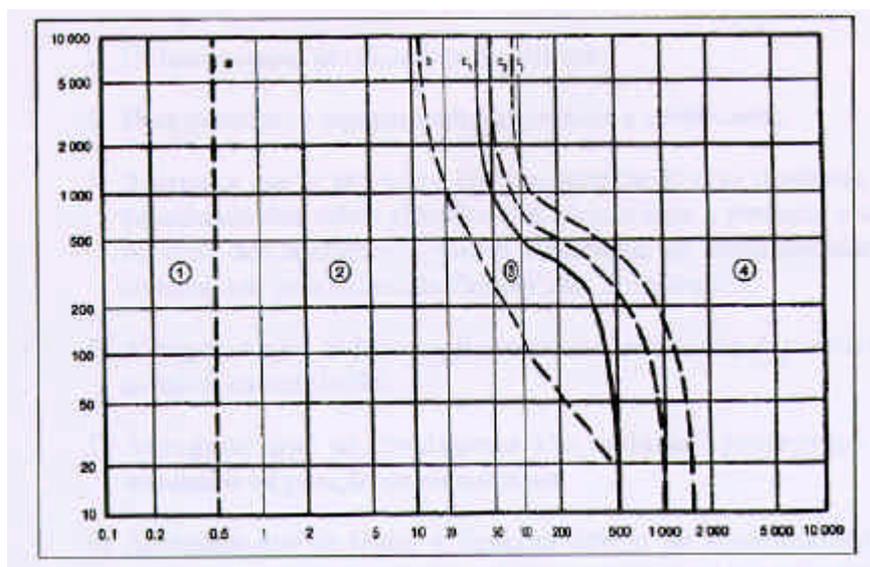
Figura 18: Zonas de perigo tempo/corrente para CC

Zona 1 - Usualmente não há efeitos

Zona 2 - Usualmente nenhum efeito fisiológico perigoso

Zona 3 - Usualmente não há danos orgânicos.

Zona 4 - Pode ocorrer fibrilação ventricular

Para choques de duração superior ao ciclo cardíaco, o limiar de fibrilação é várias vezes superior ao do da corrente alternada, embora seja idêntico para períodos inferiores a 200 ms.

A corrente contínua pode, no entanto, provocar no organismo, por fenómenos de electrólise, doenças graves para o futuro, por vezes fatais, enquanto que a pessoa que escapou ao choque em corrente alternada nada tem a recear.

3.2. Resistência do Corpo Humano

Embora os efeitos fisiológicos dependam sobretudo da intensidade da corrente, na maior parte dos casos é a tensão aplicada ao acidentado que é fixada pela instalação eléctrica. Assim, a resistência eléctrica tem um papel fundamental nos acidentes eléctricos. Verifica-se que esta resistência é não linear, podendo considerar-se “normais” os seguintes valores ([6]):

Tensão (V)	Resistência (Ω)
25	3250
50	2625
220	1350
1000	1050

Esta curva é válida para trajectos da corrente eléctrica que atravessem a região cardíaca, isto é, de uma mão para outra mão ou de uma mão para um pé.

Note-se que se costuma definir a “resistência do corpo humano” como a soma de três resistências em série:

- Resistência de contacto, na entrada de corrente, entre a vítima e o condutor tocado.
- Resistência do próprio corpo humano.
- Resistência de contacto, na saída de corrente, entre a vítima e a outra superfície condutora tocada, normalmente o solo.

A parte mais importante da resistência do corpo humano consiste nas resistências de contacto, tanto à entrada como à saída de corrente.

Um dos contactos mais frequentes é o de uma mão com um condutor ou uma peça condutora em tensão. A resistência correspondente varia de maneira considerável com a grandeza da superfície de contacto e com a natureza externa da pele (pele calosa/lisa, seca/suada, etc.).

A resistência de contacto entre a vítima e o solo varia muito com a natureza dos sapatos e o estado do solo:

- Sapatos de sola secos - resistência maior do que 50000Ω
- Sapatos húmidos com protectores metálicos - resistência da ordem das centenas de Ohm.

No caso geral, como os contactos são geralmente maus, salvo em condições especiais, podemos admitir que **a resistência do corpo não desce abaixo dos 2000Ω**.

3.3. Tensão de Segurança

Pode definir-se “Tensão de Segurança” como o valor máximo de tensão a que uma pessoa pode estar sujeita, durante um período de tempo determinado, sem sofrer perigo de electrocussão ([6]):
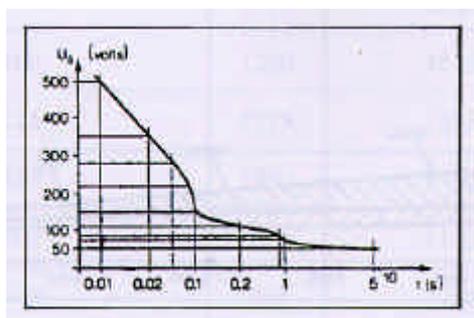
Figura 19: Tensão de Segurança em função do tempo

Se admitirmos como uma corrente perigosa para indivíduos normais de 50 mA (caso extremo), com uma resistência do corpo humano de 500Ω (caso extremo), verificamos que a tensão correspondente a que a pessoa tem de estar sujeita é de 25V. Não se tendo verificado nenhuma electrocussão com menos de **50V**, considera-se ser esta a **Tensão Reduzida de Segurança (TRS)**.

3.4. Medidas Práticas de Protecção

Definem-se a seguir alguns termos utilizados frequentemente:

- Condutor Activo - condutor afecto à condução de EE (em corrente alternada são os condutores de fase e de neutro, em corrente contínua são os condutores positivos e negativos).
- Condutor de Terra - condutor de protecção ligando o terminal de terra da instalação ao eléctrodo de terra.
- Eléctrodo de Terra - conjunto de materiais condutores enterrados destinados a assegurar boa ligação eléctrica com a terra e ligado, num único ponto, ao condutor geral de protecção (condutor de terra).
- Terra - massa condutora da terra cujo potencial eléctrico, em qualquer ponto é, convencionalmente, igual a zero.
- Massa - qualquer elemento metálico susceptível de ser tocado, em regra isolado dos condutores activos de um determinado material ou aparelho eléctricos, mas podendo ficar acidentalmente sob tensão.

Nota: Ligando um voltímetro entre um condutor activo e a terra, medimos (pelo menos nos países da UE) aproximadamente 230 V. Um dos métodos de protecção contra os efeitos da corrente eléctrica no corpo humano é ligar todas as partes metálicas entre si (massa) e à terra, o que assegura que ambas fiquem ao mesmo potencial. Em caso de contacto entre um condutor activo e a massa, não existe a possibilidade de choque eléctrico por contacto acidental com a massa.

A protecção das pessoas contra os perigos que as instalações eléctricas podem apresentar pode dividir-se em:

- **Protecção contra contactos directos**

  Consiste em proteger as pessoas contra riscos de contacto com as partes activas (normalmente sob tensão) dos materiais ou equipamentos eléctricos, envolvendo essencialmente **medidas preventivas**, nomeadamente:

  Isolamento das partes activas

  Afastamento das partes activas (depende da tensão de serviço).

  Interposição de obstáculos (redes, anteparos, écrans móveis em tomadas).

  Uso da TRS (os contactos directos tornam-se inofensivos).

  Medida activa:

  Uso de um relê (interruptor) diferencial de alta sensibilidade - o aparelho detecta a corrente derivada para a terra (ex: $I_d \geq 30$mA) através da pessoa e interrompe o circuito.

- **Protecção contra contactos indirectos**

  Visa defender as pessoas contra os riscos a que podem ficar sujeitas em resultado de as massas ficarem acidentalmente sob tensão. (ex: contacto com a carcaça de uma máquina eléctrica acidentalmente sob tensão por defeito interno de isolamento).

  Medidas preventivas

  São destinadas a prevenir o risco, fazendo que os contactos não sejam perigosos ou impedindo contactos simultâneos de massas da instalação e elementos condutores

estranhos à instalação, entre os quais possa aparecer uma diferença de potencial perigosa. Incluem-se dentro destas medidas preventivas a utilização de aparelhos de classe II de isolamento.

Estes têm o seguinte símbolo: e apresentam um isolamento reforçado, não funcionando quando algum elemento do isolamento for retirado. Devido a que este tipo de isolamento é difícil e dispendioso de implementar em certos aparelhos, esta classe de isolamento emprega-se apenas nos seguintes casos:

- Pequenos aparelhos electrodomésticos (aspiradores, máquinas de café, máquinas de barbear, secadores de cabelo, etc.)
- Pequenas ferramentas eléctricas portáteis (berbequins, ferros de soldar, etc.)
- Aparelhos de iluminação portáteis para utilização em locais húmidos ou ambientes perigosos (oficinas de pintura, etc.)

Estes aparelhos não têm, normalmente, a massa disponível para ligação à terra (pois não precisam desta, devido ao seu elevado nível de isolamento).

Diga-se ainda que a utilização exclusiva de materiais e aparelhos desta classe de isolamento numa instalação eléctrica dispensa o uso de outro sistema de protecção contra contactos indirectos.

Medidas activas

Consistem na ligação das massas à terra, directamente ou por intermédio do neutro da instalação associada a um aparelho de corte automático (normalmente sensível à corrente diferencial - relê diferencial + disjuntor (interruptor diferencial)) que desliga a instalação ou parte da instalação defeituosa.

Poderá utilizar-se, em certas situações, um aparelho de corte automático sensível à tensão de defeito. Logo que a tensão entre a massa do aparelho e a terra for acima dos valores de segurança, um relê de tensão provoca o corte do circuito defeituoso.

É também apresentada em ‘Primeiros Socorros a Acidentados’ uma descrição básica de como prestar primeiros socorros a acidentados.

4. REFERÊNCIAS

[1] Diogo P. L. Brandão, *Electrotecnia Geral*, Fundação Calouste Gulbenkian, Porto, Portugal, 1987. 🖂🕮

[2] Machado Moura, Maciel Barbosa, *Introdução aos Sistemas Eléctricos de Energia*, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1987. 🖂

[3] EDF - Electricité de France, *http://www.edf.fr*, France, 1996.

[4] CORIEL - Comissão para o Estudo e Revisão dos Regulamentos de Segurança de Instalações Eléctricas, *Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão - Decreto Regulamento nº 90/84*, Lopes da Silva, Porto, Portugal, 1985. 🖂

[5] ETA - Circuit Protection, *http://www.etacbe.com/uk*, United Kingdom, 1996.

[6] ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, *Prevenção de Riscos Eléctricos em Instalações de Utilização de Energia Eléctrica*, Edições Técnicas do Instituto de Soldadura e Qualidade, Portugal, 1993. 🖂

[7] F. Maciel Barbosa, J. Pereira da Silva, *Segurança em Instalações Eléctricas de Baixa Tensão*, Gabinete de Produção Transporte e Distribuição de Energia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1976/77. 🖂

[8] Hélder Bernardo, *http://sweet.ua.pt/~helder/sos/index.html*, Portugal, 1996.

🖂 - do autor

🕮 - disponível no ISEP

5. APÊNDICE - PRIMEIROS SOCORROS A ACIDENTADOS

Em caso de acidente com electricidade, é necessário que se tomem as medidas correctas, o mais rapidamente possível ([8]).

Se o sinistrado estiver colado ao condutor em tensão:

- Corte a energia retirando a ficha da tomada. Se não puder alcançar a tomada, desligue o quadro.

  Não utilize o interruptor do aparelho (ex: electrodoméstico). A causa do acidente pode ter sido uma avaria do próprio interruptor.

Figura 20: Como afastar uma pessoa de um contacto eléctrico

- Na impossibilidade de cortar a energia, coloque debaixo dos pés material isolante - por exemplo, uma espessa camada de jornais - e afaste da fonte de energia os membros da vítima com um cabo de vassoura ou uma cadeira de madeira (*Figura 20*).

  Não utilize objectos húmidos ou metálicos.

- Em alternativa passe uma corda ou qualquer pano seco em volta dos pés ou por debaixo dos braços da vítima e puxe-a.

  Não toque na vítima com as mãos. Não utilize nada molhado, como por exemplo, uma toalha húmida.

Se a vítima estiver inconsciente

E tiver paragem respiratória:

- Quem tiver uma paragem respiratória sofrerá provavelmente danos cerebrais ao fim de cerca de quatro minutos. Com a aplicação de ventilação artificial, conhecida vulgarmente por respiração artificial, insufla-se ar nos pulmões da vítima até esta conseguir respirar de novo.

  1. Limpe o rosto da vítima, vire-lhe a cabeça para o lado e retire-lhe rapidamente qualquer corpo estranho.

Figura 21: Retirar qualquer corpo estranho

2. Coloque uma das mãos na testa e outra sob o pescoço da vítima e incline-lhe a cabeça bem para trás para abrir as vias respiratórias.

Figura 22: Retirar qualquer corpo estranho

3. Respiração boca-nariz: com uma das mãos, mantenha fechada a boca da vítima. Ponha a sua boca sobre o nariz da vítima e faça quatro insuflações. Retire a boca e espere que o peito da vítima se esvazie de ar. Repita. (Se a vítima for um bebé ou uma criança pequena, deve abarcar o nariz e a boca).

Figura 23: Respiração Boca-Nariz

4. Quando a vítima começar a respirar por si, ponha-a na posição lateral de segurança.

Senão:

- Excepto nos casos de suspeita de fractura da coluna vertebral ou do pescoço, vire o corpo da vítima inconsciente, mas ainda a respirar, para a **posição lateral de segurança**, o que impedirá que sangue, saliva ou a língua obstruam as vias respiratórias.

   1. Ajoelhe-se ao lado da vítima, volte-lhe a cabeça para si e incline-a para trás para lhe abrir as vias respiratórias.
   2. Estenda ao longo do corpo da vítima o braço que ficar mais perto de si. cruze o outro braço sobre o peito. Cruze a perna mais afastada sobre a que está mais próxima.

Figura 24: Posição lateral de segurança 1

3. Ampare a cabeça da vítima com uma das mãos e com a outra agarre-a pela anca mais afastada.

Figura 25: Posição lateral de segurança 2

4. Vire a vítima de bruços, puxando-a rapidamente para si e amparando-a com os joelhos.

Figura 26: Posição lateral de segurança 3

5. Puxe a testa da vítima para trás, de modo a que a garganta fique direita. Assim, as vias respiratórias manter-se-ão desimpedidas, o que permite que a vítima respire livremente.

Figura 27: Posição lateral de segurança 4

6. Dobre o braço que fica mais próximo de si para lhe sustentar o tronco. Dobre a perna mais próxima para servir de apoio ao abdómen. Retire o outro braço de debaixo do corpo.

Figura 28: Posição lateral de segurança 5

Telefone para providenciar uma ambulância ou transporte a vítima ao serviço de urgência do hospital. Informe o hospital sobre o período de tempo que a vítima esteve em contacto com a fonte de energia eléctrica.

O tratamento de queimaduras, se estas existirem, deve ser feito no hospital. No entanto, há procedimentos a ter imediatamente, nomeadamente ([7]):

- Proteger as queimaduras da cara e das mãos com gaze esterilizada (figura à direita).
- As queimaduras dos olhos devem ser deixadas a descoberto.

Informação interessante sobre o tratamento de queimaduras pode ser encontrada em [8].

É ainda de salientar que dados estatísticos mostram que a respiração artificial teve sucesso em cerca de 47% do casos em que foi aplicada, sendo a probabilidade maior quanto mais longo for o período de aplicação ([6]).